

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Breslau.)

In Sachen des Aggregatzustandes der lebendigen Substanz.

Von

Dr. Paul Jensen,
Privatdocenten an der Universität Breslau.

Eine Kritik, welcher F. Schenck meine kürzlich erschienene Abhandlung über den Aggregatzustand des Muskels u. s. w.¹⁾ unterworfen hat²⁾, erweckt den Anschein, als hätte ich neben anderen Missgriffen die elementarsten Grundlagen der von mir vorgetragenen Anschauungen ausser Acht gelassen. In Wirklichkeit liegen aber nur Missverständnisse Schenck's vor, welche bei einer genügend sorgfältigen Prüfung meiner Ausführungen, wie man sie angesichts einer so ausgiebigen Kritik voraussetzen sollte, nicht hätten vorkommen dürfen. Unter diesen Umständen scheint mir eine Richtigstellung am Platze zu sein, die vielleicht auch sonst zur Klärung der Sachlage beitragen wird. Da ich in den ferneren Erörterungen von der persönlichen Färbung der Schenck'schen Besprechung absehen will, so möchte ich hier nicht unterlassen, über den Ton, welchen die Schenck'sche Kritik an verschiedenen Orten darbietet, mein Bedauern auszusprechen.

Schenck³⁾ glaubt zunächst einige schwerwiegende physikalische Mängel in meiner Hypothese gefunden zu haben, die allerdings, wenn sie wirklich vorhanden wären, für dieselbe tödtlich sein müssten. Die von mir vorausgesetzte beträchtliche Oberflächenspannung zwischen den Fibrillen und dem Sarkoplasma des Muskels sei unmöglich, da die Substanz der Muskelfibrillen ebenso wie das

1) P. Jensen, Ueber den Aggregatzustand des Muskels und der lebendigen Substanz überhaupt. Pflüger's Arch. Bd. 80 S. 176.

2) F. Schenck, Ueber den Aggregatzustand der lebendigen Substanz, besonders des Muskels. Pflüger's Arch. Bd. 81 S. 584.

3) Schenck, l. c. S. 584 u. 585.

Sarkoplasma wässrige Lösungen von Biogenen¹⁾ darstellten, zwischen denen keine nennenswerthe Oberflächenspannung vorhanden sein könnte. Nun geht aber aus S. 186 f. meiner Abhandlung unzweifelhaft hervor, dass ich die lebendigen Substanzen keineswegs für wässrige Lösungen von Biogenen halte. Dort ist die Rede von den Wasserverhältnissen der lebendigen Substanz. Nachdem ich daselbst die Annahme einer „Quellbarkeit“ der lebendigen Substanz kritisirt und darauf hingewiesen habe, dass ein Theil der beträchtlichen Wassermenge, welche die chemische Analyse der getödteten Substanz feststellt, nicht präformirt in ihr enthalten sei, fahre ich fort: „Den übrigen Haupttheil des Wassers haben wir uns in der Biogensubstanz, wenn wir uns diese flüssig denken wollen, als gelöst, mit dieser begrenzt gemischt vorzustellen, wie ja die verschiedensten Flüssigkeiten selbst ziemlich grosse Mengen von Wasser gelöst enthalten können.

„Solcher Beispiele von beträchtlicher, aber doch begrenzter Mischbarkeit von Flüssigkeiten mögen hier einige angeführt werden: Von den vielen Substanzen, welche mit Wasser beschränkt mischbar sind, sei als Beispiel einer grossen Aufnahmefähigkeit für letzteres das zähflüssige Lanolin erwähnt, dem man gegen 50% Wasser oder wässriger Lösungen beimischen kann,“ u. s. w.²⁾ Es ist aber doch physikalisch ganz unzweideutig, dass eine Flüssigkeit, von welcher ausdrücklich angegeben wird, sie sei mit Wasser begrenzt mischbar, nicht an sich eine wässrige Lösung (von Biogenen) ist; zu untersuchen, ob eine nicht einmal genauer bestimmte „wässrige Lösung“ mit „Wasser begrenzt mischbar“ sei, — das wäre doch ein seltsames Unternehmen. Zudem ist als Beispiel die begrenzte Mischbarkeit des Lanolins mit Wasser angeführt³⁾. Nach alledem glaubte ich, weitere Ausführungen über die besprochene Voraussetzung meiner Hypothese unterlassen zu dürfen. Für alle Fälle aber mögen hier noch einige kurze Erläuterungen folgen:

1) Angeblich nach meiner Ansicht.

2) Die in diesem Citat gesperrt gedruckten Worte sind auch im Original in derselben Weise hervorgehoben.

3) Absichtlich habe ich, um Missverständnisse möglichst zu vermeiden, den Ausdruck: begrenzte „Mischbarkeit“ der Biogenflüssigkeit mit Wasser gewählt, obgleich es in der Physik jetzt allgemein üblich ist, auch von Lösungen zweier Flüssigkeiten (in einander) zu sprechen, wie der erweiterte Begriff der Lösung jetzt ja auch feste Lösungen umfasst.

Meiner Ansicht nach ist also die Biogensubstanz an sich eine Flüssigkeit, die sich dem Wasser gegenüber physikalisch etwa so verhält wie flüssiges Fett, Benzol, Toluol, Terpene u. dgl. Sie zeigt, wie diese Körper, eine erhebliche Oberflächenspannung gegen Wasser, ist wie sie mit Wasser beschränkt mischbar und kann ferner Salze, Gase und andere Körper gelöst enthalten. Die Biogensubstanzen verschiedener Zellarten sind verschieden und können dementsprechend grössere oder geringere Oberflächenspannung auch gegen einander besitzen, welche eine erhebliche Vermischung verhindert, ohne indess dem osmotischen Austausch beiderseits gelöster Körper (wie von Nährstoffen und Stoffwechselproducten) im Wege zu stehen¹⁾. Das gilt auch für die Beziehungen zwischen Sarkoplasma und Fibrillen; mir scheint die Annahme nicht schwierig zu sein, dass hier durch die besondere Differenzirung des Muskels seiner Function entsprechende Oberflächenspannungs-Verhältnisse zwischen Sarkoplasma und Fibrillenzu Stande gekommen sind.

So viel über die eine angebliche physikalische Unmöglichkeit. Durch das eben Ausgeführte findet zum Theil auch die andere²⁾ ihre Erledigung; im Uebrigen verweise ich auf S. 223—225 meiner Abhandlung, wo dasjenige, was Schenck bezüglich der Erhaltung des von mir geschilderten materiellen Systems wissen möchte, ausführlich erörtert ist.

Hier sei sogleich noch ein Einwand zurückgewiesen, den Schenck an einer späteren Stelle (S. 592) erhebt, ein Einwand, der gleichfalls auf der Voraussetzung beruht, dass die lebendige Substanz eine wässrige Lösung von Biogenen sei. Da unter solchen Umständen auch die Pseudopodien von Orbitolites³⁾ keine nennenswerthe Oberflächenspannung gegen Wasser zeigen könnten, so sei die von mir nachgewiesene beträchtliche Zugfestigkeit der Pseudopodien auch nicht auf die Oberflächenspannung zurückzuführen; vielmehr hätte ich selbst den Beweis geliefert, dass das verhältnissmässig zugfeste

1) Ueber die Gesetze und wichtigen Beziehungen, welche unter solchen Umständen bestehen, vgl. Nernst, Theoretische Chemie, 2. Aufl. S. 454 ff. Stuttgart 1898.

2) Schenck, l. c. S. 585.

3) Wer die lebendige Substanz der Rhizopoden schlechthin für eine wässrige Lösung von Biogenen halten wollte, müsste sich doch wohl zuerst die Frage vorlegen, wie eine solche Substanz überhaupt in einem wässrigen Medium bestehen könne, ohne sich völlig aufzulösen.

Foraminiferenplasma ein festes Gerüst enthalten müsse. Diese Folgerung Schenck's fällt also mit der irrigen Prämisse, und meine bezüglichen Ausführungen behalten unverändert ihre Geltung.

Beiläufig verlangt Schenck¹⁾ von mir eine Motivirung für meine Annahme, dass die Oberflächenspannung der Fibrillen bei der Contraction zunehme. Da ich bei anderer Gelegenheit auf diese Frage näher eingehen wollte, so mögen hier nur einige Andeutungen Platz finden. Man nimmt an, dass die vom Flüssigkeitsinnern auf die Oberflächenmoleküle ausgeübte Attractionskraft, nämlich der Normaldruck (gewöhnlich mit k bezeichnet), dem Quadrat der Anzahl der zusammenwirkenden Moleküle proportional ist²⁾. Und da die Oberflächenspannungsconstante (α) in ähnlicher Weise wie der Normaldruck von den molekularen Verhältnissen der Flüssigkeit abhängt, so kann man auch für sie eine analoge Beziehung zur Molekülzahl der Flüssigkeit annehmen. Auch ist in der That gefunden worden, dass mit zunehmender Concentration einer Lösung auch die Constante ihre Oberflächenspannung grösser wurde. Nun zerfallen nach allgemeiner Anschauung bei der Dissimilirung die Biogene in eine grössere Anzahl kleinerer Moleküle, so dass also bei dissimilatorischer Erregung (absteigender Aenderung [Hering]) des Muskels die Fibrillen und das Sarkoplasma reicher an Molekülen werden; und das ist die Grundlage der Zunahme der Oberflächenspannungsconstante der Fibrillenhaut bei absteigender Aenderung der Muskelsubstanz³⁾.

Sodann vermisst Schenck (S. 585f.) bei mir, dass ich nicht alle Thatsachen der Dehnbarkeit des ruhenden und thätigen Muskels durch meine Hypothese zu erklären vermöge. Wenn mir Schenck alle chemischen Aenderungen, welche das Sarkoplasma und die Fibrillen während einer Zuckung durchlaufen, und die aus der Qualität der Aenderung sich ergebende specifische Beeinflussung der Oberflächenspannungsconstante der Fibrillenhaut angeben kann, so werde ich gerne versuchen, alle Veränderungen der Muskel-elasticität nach meiner Hypothese zu erklären. Mir ist keine Hypothese bekannt, welche ohne Kenntniss jener chemischer Aenderungen

1) l. c. S. 585.

2) Nernst, l. c. S. 211 ff.

3) Abgesehen von dem Einfluss der Molekülzahl können auch durch die veränderte qualitative Beschaffenheit von Sarkoplasma und Fibrillen Aenderungen in der Oberflächenspannung zwischen Beiden zu Stande kommen.

und ihrer mechanischen Folgen im Stande wäre, in befriedigender Weise speciellere Erklärungen zu geben¹⁾.

Bezüglich der Behauptung Schenck's²⁾, „dass die Fibrillen wegen der ihnen schon in der Ruhe zukommenden Oberflächenspannung sich, ohne erregt zu sein, contrahiren müssten, wenn sie so isolirt werden, dass der Zusammenhang mit dem Sarkolemm und Bindegewebe ihre Contraction nicht mehr hindert“, — bezüglich dieser Behauptung brauche ich nur auf S. 223 f. meiner Abhandlung zu verweisen, im Besonderen auf das dort citirte Plateau'sche Princip. Dasselbst ist alles für diese Frage in Betracht Kommende bereits angegeben.

Ferner soll es gegen meine Hypothese sprechen, dass nach M. Heidenhain die Fibrillenquerschnitte eckig seien³⁾. Stände dies unzweifelhaft fest, so hätte eine bezügliche Hypothese allerdings mit einer solchen Thatsache zu rechnen; vorläufig befindet sich diese aber noch mit anderen Darstellungen im Widerspruch.

Weiterhin kommt Schenck auf meine Kritik der Contractions-
theorie von Pflüger und Fick zu sprechen (S. 586 ff.) und meint, ich habe mich nur gegen ein Bild gewendet, das Fick mit allem Vorbehalt zur Illustration seiner Hypothese gegeben, wesshalb meine Kritik gegenstandslos sei. Dem kann ich keineswegs beistimmen. Natürlich hielt ich mich zunächst, um etwas Bestimmtes vor Augen zu haben, an das von Fick gezeichnete Bild, aber ebenfalls mit aller Zurückhaltung. Meine Besprechung beginnt (S. 205): „Bei der näheren Betrachtung dieses Vorganges darf ich mich wohl an die von Fick gegebene ausführlichere Darstellung halten —.“ Und zum Schluss dieser Ausführungen heisst es (S. 208): „In der besprochenen Form scheint mir daher die Hypothese des unmittelbaren Kraftumsatzes [nämlich die Hypothese von Fick] nicht haltbar zu sein. Ob es eine günstigere Form einer derartigen Hypothese gibt, ist sehr fraglich, weil die genannten Schwierigkeiten im Wesen derselben begründet sind.“ Daraus erhellt doch zur Genüge, dass meine Einwendungen nicht nur gegen das von Fick gebrauchte Bild ge-

1) Wer vermöchte wohl zu sagen, warum „die Torsionselasticität des Muskels bei der Contraction in der Regel abnimmt, nur ausnahmsweise zunimmt“, wie das Hauptresultat der Untersuchungen dieses Gegenstandes durch Schenck lautet?

2) Schenck, l. c. S. 586.

3) Ebenda S. 586.

richtet sind, sondern gegen jede Hypothese des unmittelbaren Kraftumsatzes im Sinne derjenigen von Pflüger, Fick und Schenck, d. h. gegen jede Hypothese, welche die bei der Contraction auftretende kinetische mechanische Energie direct aus chemischer Energie entstehen lassen. Schenck geht aber auf meine nachdrücklich vorgebrachten Bedenken gar nicht ein; statt dessen stellt er alle Gründe zusammen, welche für die Theorie des unmittelbaren Energie-Umsatzes sprechen, und wundert sich, dass ich diese nicht berücksichtigt habe. Nun, das geschah desshalb, weil diese Gesichtspunkte im Wesentlichen auch für diejenige Form der Hypothese des unmittelbaren Energie-Umsatzes sprechen, zu der auch ich mich vorläufig bekenne.

Das hat Schenck ganz übersehen, dass ich durchaus nicht als Gegner jeder Hypothese vom unmittelbaren Energie-Umsatz aufgetreten bin. Und doch habe ich mehrfach hervorgehoben (S. 204, besonders Anm. 4 und S. 208), dass ich nur die Anschauung bekämpfe, nach welcher die kinetische mechanische Energie des Muskels direct, ohne den Umweg über statische¹⁾ mechanische Energie, aus der chemischen Energie des Muskels entspringe, was ferner auch aus allen meinen Einwänden (S. 206 ff.) gegen die Fick'sche Hypothese hervorgeht; nur diese Form der Hypothese des unmittelbaren Energie-Umsatzes ist nach meiner Meinung unhaltbar. Und der Grund, wesshalb ich sie in jenem Zusammenhang bekämpfte, liegt darin, dass sie auch diejenige ist, welche einen festen Aggregatzustand der lebendigen Substanz, eine regelmässige Orientirung ihrer Moleküle erfordert. Sie stand also der Annahme der Flüssigkeitshypothese im Wege, was auch Schenck angibt (l. c. S. 590) und besonders beherzigt wissen will²⁾. Ich verstehe daher nicht, warum Schenck mir für eine diesbezügliche

1) Es würde sich hier, wenn ich von meiner Hypothese absehe, um diejenige Form mechanischer Energie handeln, welche man wohl am besten als Gestaltsenergie bezeichnet; also die Energieform, deren Intensitätsfactor die mechanische Spannung ist. Vom Standpunkt meiner Hypothese hätten wir es mit Oberflächenenergie zu thun.

2) Schenck (Kritische und experimentelle Beiträge zur Lehre von der Protoplasmabewegung und Contraction. Pflüger's Archiv Bd. 66 S. 276) schreibt: „— Ich bezwecke — nur darauf aufmerksam zu machen, dass im Sinne der Theorie des unmittelbaren Kraftumsatzes die contractile Substanz fest sein muss, und dass dies zu berücksichtigen ist bei Aufstellung von Theorien über Protoplasmastructur.“

Kritik den Grund aberkennt; ebensowenig freilich verstehe ich den Gedankengang dieses seines Einspruches (S. 590).

Es sei also nochmals bemerkt, dass ich meinen Erörterungen ebenfalls die Annahme eines unmittelbaren Energie-Umsatzes zu Grunde gelegt habe, aber mit dem Unterschied gegenüber Schenck, dass ich die chemische Energie zunächst in statische¹⁾ mechanische Energie und dann erst in kinetische mechanische Energie übergehen lasse²⁾; eine Annahme, die auch einen flüssigen Aggregatzustand der lebendigen Substanz zulässt, wie ich auf S. 204 meiner Abhandlung bemerkt habe. Mein Standpunkt in letzterer Hinsicht lässt sich aus den kurzen Andeutungen auf S. 225 meiner Abhandlung entnehmen.

Meinen Ausführungen über den Aggregatzustand des amöboiden Protoplasmas habe ich kaum etwas hinzuzufügen. Auf die zahlreichen physikalisch präcisirten Einwände gegen die Molekularstrukturhypothesen (S. 214 f.) geht Schenck gar nicht ein. Ohne Rücksicht auf die Ergebnisse der gründlichsten Kenner des formwechselnden Protoplasmas (Max Schultze, Kühne, Bütschli, Berthold, Verworn) beruft er sich auf die Untersuchungen von M. Heidenhain an einem nicht einmal besonders günstigen Object, wonach die Protoplasmaströmung nur ein Trugbild wäre, wie die scheinbare Bewegung der Sonne um die Erde³⁾.

Den Einwand auf S. 592 habe ich schon zuvor (vergl. oben S. 174 f.) erledigt.

1) Vgl. S. 177 Anm. 1.

2) Uebrigens möchte ich mich auf die Hypothese des unmittelbaren Energie-Umsatzes durchaus nicht einschwören. Alle genaueren Untersuchungen über Energieverwandlungen zeigen, welch' vielseitige Rolle die Wärme so häufig als Vermittlerin spielt. Auch bezüglich der Muskelcontraction sind verschiedene Wege denkbar, auf denen die Wärme eingreifen könnte.

3) Würzburger Sitzungsberichte 1897 S. 119. — Die Anschauungen Engelmann's kann Schenck kaum zu seinen Gunsten in's Feld führen (Schenck, l. c. S. 591). Das Verhalten der Gasblasen in *Arcella* ist ein Ausnahmefall, der einer speciellen Erklärung bedarf, die nach den Principien meiner Hypothese sehr wohl möglich wäre (vgl. meine Abhandlung S. 197—202). Im Uebrigen nimmt Engelmann an, dass die contractilen Elemente („Inotagmen“) der nackten Protoplasmen „im Allgemeinen sehr leicht und in allen Richtungen gegen einander verschiebbar zusammengefügt sind“, — d. h. meines Erachtens: die Inotagmen der nackten Protoplasmen verhalten sich wie die Moleküle eines in Flüssigkeit gelösten Körpers (vgl. Engelmann in Hermann's Handbuch Bd. 1 S. 375).

Schliesslich noch ein paar Worte über den Aggregatzustand der lebendigen Substanz im Allgemeinen. Schenck fragt (S. 593): „Wie kommt es z. B., dass schon bei manchen einzelligen Organismen, etwa den Wimperinfusorien, sich für jede Art immer eine ganz bestimmte Form ausbildet und beibehalten wird? Wie kommt es, dass ein solches Wimperinfusor sich niemals in eine Amöbe verwandelt und umgekehrt, da doch beide Lebewesen flüssig sein sollen?“ Solche Fragen hätte ich angesichts meiner Auseinandersetzungen über die Formbildung der lebendigen Substanz (S. 196—203), im Besonderen nach den Citaten aus Berthold's Protoplasmamechanik, nicht erwartet. Dort sind die wichtigsten allgemein in Betracht kommenden Factoren zusammengestellt, und es ist versucht worden, die verschiedensten Arten der lebendigen Formbildungen mit ihrer Hilfe dem Verständniss näher zu bringen, wobei sich meines Erachtens principielle Schwierigkeiten nicht ergaben. Die allgemeinen Einwendungen, welche Schenck in wenig präziser Form wiederholt, habe ich dort alle ausführlich behandelt; etwas Neues, was eine Berücksichtigung meinerseits verlangte, bringt Schenck nicht. Im Uebrigen habe ich keineswegs beansprucht, die speciellen Gestaltungen etwa der einzelligen Organismen schon erklären zu können, da meine Erklärungen im Einzelnen eine genaue Kenntniss der chemischen Zusammensetzung der Zellen und der von ihnen abhängigen mechanischen Verhältnisse (Oberflächenspannung, osmotische Druckverhältnisse, Zähigkeit) voraussetzen würden.

Schenck wirft mir vor (S. 593), ich hätte übersehen, dass Pflüger selbst eine Erklärung für die Entstehung der „polymerisirbaren Moleküle“, also der Assimilirung des „lebendigen Eiweisses“ gegeben habe. Und doch beschäftigt sich fast die Hälfte der Sätze, in denen ich die Pflüger'sche Molekularstrukturhypothese bespreche, gerade mit dieser Frage. Es sei mir gestattet, meine bezüglichen Ausführungen nochmals hierherzusetzen¹⁾: „Pflüger lässt bekanntlich das ‚lebendige Eiweiss‘ einer Zelle, das er sich, wie auch dasjenige eines ganzen Organismus, als ein einziges Riesenmolekül vorstellt, durch Polymerisirung zunehmen. Er denkt sich dasselbe ‚begabt mit der Eigenschaft, in allen seinen Radicalen mit grosser Kraft und Vorliebe besonders gleichartige Bestandtheile anzuziehen, um sie dem Molekül chemisch einzufügen und so in infinitum zu

1) Vgl. meine Abhandlung S. 189.

wachsen'. Diese Hypothese gibt nun zwar eine Vorstellung davon, in welcher Weise man sich vielleicht die chemischen Kräfte, welche die Assimilierung beherrschen, wirksam vorstellen möge, aber der etwaige Vorthail dieser Anschauung ist nicht unbedingt an die Annahme des Riesenmoleküls und seiner Netzstructur gebunden; er würde auch bestehen bleiben, wenn wir uns die polymeren Ketten desselben in ihre gleichartigen Glieder zerspalten dächten und diesen die Fähigkeit, zu wachsen und sich zu theilen, zusprächen.“ (Eine derartige Hypothese hat Hatschek aufgestellt.)

Daraus geht hervor, dass ich den Versuch Pflüger's, die Assimilierung zu erklären, wohl berücksichtigt habe; sodann aber auch, dass es gar nicht meine Absicht war, Pflüger's Erklärung der Assimilierung im Allgemeinen zu beurtheilen oder zu bekämpfen¹⁾, als vielmehr zu zeigen, dass die Annahme einer Molekularstructur im Sinne Pflüger's (Riesenmolekül, Netzstructur) für die Erklärung der Assimilierung keinen Vorthail biete, was Pflüger und andere Autoren anzunehmen scheinen.

Gegen Schluss werden die Einwürfe Schenck's weniger gewichtig. Daher kann ich wohl meine Auseinandersetzung hier beenden.

Das Ergebniss meiner Erwiderung ist, dass die Einwände Schenck's im Wesentlichen auf ungenügender Kenntniss meiner Ausführungen beruhen und ich mich durch dieselben nicht veranlasst sehe, meinen Standpunkt in der Frage des Aggregatzustandes der lebendigen Substanz irgendwie zu ändern.

1) Ein Eingehen auf diejenigen Ausführungen Pflüger's, auf welche Schenck mich glaubte hinweisen zu müssen, lag daher gar nicht im Plane meiner Erörterungen. Uebrigens bin ich weit davon entfernt, den Werth der einschlägigen Untersuchungen Pflüger's zu verkennen; die Geschichte der allgemeinen Physiologie in den letzten 25 Jahren würde mich alsbald eines Besseren belehren.